



TITLE:

製鉄業における機械体系の確立過程 - 19世紀中葉イギリス製鉄業を中心にして -

AUTHOR(S):

坂本, 和一

CITATION:

坂本, 和一. 製鉄業における機械体系の確立過程 - 19世紀中葉イギリス製鉄業を中心にして -. 経済論叢 1967, 100(2): 143-162

ISSUE DATE:

1967-08

URL:

<https://doi.org/10.14989/133206>

RIGHT:

經濟論叢

第100卷 第2号

貨幣恐慌とインフレーション 島 恭 彦 1

アークライト型紡績工場 堀 江 英 一 21

行列簿記小史 高 寺 貞 男 44

製鉄業における機械体系の確立過程 坂 本 和 一 65

昭和42年8月

京都大學經濟學會

製鉄業における機械体系の確立過程

——19世紀中葉イギリス製鉄業を中心にして——

坂 本 和 一

I はじめに

わたしはこれから、産業資本主義段階におけるイギリス製鉄業の生産構造をあきらかにしていくつもりであるが、本稿でのわたしの直接の課題は、そのための基礎作業として、19世紀中葉におけるイギリス製鉄業の機械体系＝工場¹⁾の内容を検討し、その発展段階をあきらかにすることである。

ところで、製鉄業の労働過程はいうまでもなく、大きく区分して、製鉄、精錬（製鋼）、圧延加工という3つの自立した労働過程を包含している。しかも、現代的な製鉄業経営は、これらの自立的な3つの過程の機械体系を単一の作業場所に結合し、それらを実質的には単一の機械体系としていることにそのもっとも大きな特徴をもっている。そこで、わたしはこれから、産業革命期およびそれ以後になされてきた種々の技術的諸変革がこのような現代的な製鉄機械体系を形づくってくる過程を展望し、この発展過程の展望のうちに19世紀中葉の機械体系＝工場を位置づけることによって、はじめにのべたような課題をはたしていこうと思う。

II 製鉄機械体系の現代的形態

いまのべたような方法で19世紀中葉のイギリスにおける製鉄機械体系の発

- 1) 製鉄業の技術体系は、厳密には「装置と機械との体系」というべきであるが、ここでは機械体系ということばをひろく理解して、それは装置の単純協業および分業体系をもふくむ概念であるとする。ここでつかう「装置」という概念のくわしい意味については、三戸公「装置工業論序説」1957年、第1、2章；拙稿、イギリス産業革命期における製鉄業技術の発展段階、「経済論叢」第99巻第2号、1967年2月、を参照。またここで「工場」という場合、それは機械体系によって規定される限りでの「工場」であり、そこにおける生産関係の側面はさしあたり捨象されている。

展段階をあらかじめするためには、まずはじめに、現在わたしたちがみるもっとも発展した形態の製鉄工場における製鉄機械体系を抽出して、その内容と技術的性格を説明しておくのが好都合である。さきにのべたように、現代の典型的な単位製鉄工場は、製鉄、製鋼、圧延という連続した3つの労働過程を1つの場所で実現する、いわゆる「鉄鋼一貫工場」である。はじめに、個々の部分過程の内容から説明していこう²⁾。

製鉄過程 製鉄機械体系は熔鉄炉の単純協業をその中核としている。そしてさらに、装置としての個々の熔鉄炉は、炉体（狭義の熔鉄炉）、送風機、熱風炉をその基本的な構成部分として成立っている。熔鉄炉では、原料秤量・装入→送風・熔鉄→出鉄・出滓という手順で鉄が連続的に製造されており、さらにガス清浄作業が不可欠の工程として結合されている。約4時間ごとに注出される熔鉄は大部分はそのまま製鋼用混鉄炉へ運ばれ、一部分は鑄鉄機で型鉄（冷鉄）にされる。

製鋼過程 製鋼機械体系は装置としての製鋼炉（平炉、転炉、電気炉）の単純協業をその中核として成立っている。ここでは基本的に2つの工程によって鋼塊がつけられている――

1 精錬工程 「鉄鋼一貫工場」では普通、平炉または転炉を利用して鉄鉄を鋼に精錬する作業がおこなわれている。

2 造塊工程 取鍋にとられた熔鋼が鑄型に注入され、鋼塊に形づくられる。

圧延過程 ここではつぎのような諸工程によって、鋼塊が各種の完成品に成形されている。圧延機械体系はこれらの段階的諸工程の諸装置・諸機械の分業体系として成立っている――

2) 本節の説明は主として、U. S. Steel Corporation, *The Making, Shaping and Treating of Steel*, 1951, 邦訳「鉄鋼製造法」（丸善刊、日本鉄鋼協会訳）上・中巻；Toussaint, F., *Der Weg des Eisens*, 邦訳「鉄鋼はいかにして造られるか」（丸善刊、里村春高訳）によっている。なお、本稿の説明は機械体系の外延的な発展の側面に集中されているので、個々の諸工程の技術的内容とそれに対応する労働力の質的内容との関係の側面については、ざしあたりくわしくはのべない。この課題はつぎの機会にゆづる。

- 1 均熱工程 造塊場から送られてくる熱鋼塊が均熱炉で均熱される。
- 2 分塊圧延工程 鋼塊が分塊圧延機、鋼片圧延機によって、断面積の小さな仕上圧延用素材にひきのばされる。
- 3 精整工程 圧延された鋼塊が剪断機で切断されて、各種用途向きの半成品（ブルーム、スラブ、ピレット、シートバー）がつくられる。
- 4 再加熱工程 半成品が再加熱される
- 5 各種圧延工程 再加熱された半成品が各種の圧延機によって、鋼板、条鋼、帯鋼、鋼管に圧延される。
- 6 精整工程 それらは矯正・切断されて完成品となる。

「鉄鋼一貫工場」を構成している各生産段階の諸工程とその技術的基礎をなす諸装置・諸機械は、以上のような配列になっている。しかし、「鉄鋼一貫工場」においては、以上の基本的な3つの労働過程のほかいくつかの付属的な労働過程が結合されている。そのうち、主要なものをあげると――

コークス製造過程 副産物回収式コークス炉によって石炭がコークス化され、同時にコークス炉ガスおよび各種副産物が回収される。

酸素製造過程 空気深冷分離装置によって純酸素上吹き転炉用の酸素が製造される。

発電過程 回収されている余剰ガス（熔鉱炉ガスとコークス炉ガス）を利用して、蒸気タービンによる発電がおこなわれる。

現代の典型的な単位製鉄工場は以上のような相連関する部分的機械体系によって構成されている。しかも、それらが同一の場所で工程順に整然と配置されているわけである。こうしてできあがっている「鉄鋼一貫工場」の機械体系の規模は、労働手段相互の相対的能力、完成圧延品の種類によって著しく異なるが、いま単一品種の圧延をする最新の単位「鉄鋼一貫工場」の機械体系の規模を、熔鉱炉、製鋼炉、圧延機という基幹の労働手段の協業規模＝構成比率によって表示すれば、第1表のようにになっている。これが現代製鉄業における投資の単位をなしているものである。

第1表 「鉄鋼一貫工場」機械体系の一例
(八幡製鉄戸畑製造所の場合)

過程区分	労働手段	基数	能 力
製 鉄	熔 鉱 炉	3	No.1 (2,000t/日)
			No.2 (2,100t/日)
			No.3 (2,400t/日)
製 鋼	転 炉	5	60t×2 70t×1 130t×2
圧 延	分塊圧延機	2	No.1 (160,000t/月) No.2 (150,000t/月)
	熱間広巾帯鋼 圧 延 機	2	No.1 (120,000t/月) No.2 (180,000t/月)
	冷間広巾帯鋼 圧 延 機	4	No.1 (52,000t/月) No.2 (32,000t/月) No.3 (10,000t/月) No.4 (45,000t/月)

注 1) 八幡製鉄発行パンフレット「会社案内」より抽出。

2) 数字は1964年4月現在のもの。

さて、このような、本
来自立して機能しうる個
個の機械体系を結合し、
単一の機械体系を形成す
るにいたらせている要因
はなにか、つまり現代的
な製鉄機械体系の構成原
理がつぎに問われねばな
らない。それには、基本
的に2つの視点からこた
えることができる。第1
の視点は労働対象運搬の
問題である。もとより製
鉄業の労働対象はすぐれ
て重量物であり、過程相
互の近接が他のどの工業

部門にも増して要請されることはいうまでもない。しかも、単位装置の大容量化とそれにもとづく大量生産の進展はますますこのことを要請している。さらに大量生産の進展は、一方では諸原料を、他方では製品市場を、一地域にのみ依存することを不可能にし、広範な地域から諸原料を調達でき広範な地域へ製品を販売できるような条件をそなえた場所、とりわけ沿岸（海岸、湖岸、河岸）における製鉄工場の立地を要請している。こうして、なによりもまず労働対象の運搬という視点から、諸過程の場所的集中とこのような「鉄鋼一貫工場」の沿岸立地という方向が導きだされる。しかし、より重要なのは、熱の多角的利用という第2の視点である。熱は一貫して製鉄工場における重要な労働手段の1つであり、熱の有効的な利用は製鉄工場の技術的合理性を規定する重要要因の1つである。この問題は2つのラインで考えることができる。まず第1のライ

ンは、熔銑のもっている熱の利用である。さきの説明でわかるように、熔銑炉から注出される熔銑は熔融状態のまま製鋼炉へ運ばれ、精錬されうる。さらに、製鋼炉から注出される熔鋼は鋳型で鋼塊とされるが、鋼塊は熱塊のまま均熱炉で適度に均熱されて分塊圧延されうる。こうして、労働対象は熔銑炉から分塊圧延機まで冷却されることなく連続的に加工されることが可能なのであるが、このような可能性は「銑鋼一貫工場」という基礎ではじめて実現されるものである。第2のラインは、余剰ガスの利用である。熔銑炉ガスとコークス炉ガスはその一部が熱風炉およびコークス炉の加熱用に消費されるが、あとに大量の余剰ガスがのこる。この余剰ガスは遠隔輸送ガスとして工場外へ販売することも可能であるが、一般に工場内でより有効に利用する方向が追求される。まずそれは製鋼炉（この場合は平炉）および加熱炉用燃料として利用される。これによってガス発生炉における石炭消費が節約される。さらにそれはボイラー用燃料として利用され、それによって発電機用および送風機用蒸気タービンが運転される。これによっておなじようにボイラーにおける石炭消費が節約される。このように、余剰ガスは工場内でむだなく利用されうるわけであるが、このような技術的合理性も「銑鋼一貫工場」という基礎の上ではじめて実現されるものである。こうしてさらに、熱の多角的利用という視点から、製鉄業における各生産段階の諸過程の場所的集中という法則が導きだされる。

以上で、現代的な単位製鉄工場の機械体系の内容とその構成原理について説明した。これを基礎にして最後に、大量生産方式としての製鉄機械体系を性格づけておくことにする。一般に大量生産方式には、それが立脚している労働過程の性格にしたがって、2つの類型が考えられる。労働過程の性格によって工業は普通、進行工業（process industry）と組立工業（assembly industry）とに分類されるが³⁾、まず進行工業における大量生産方式は、労働対象の流れにしたがって配列されている部分諸機械・諸装置がそれぞれ連続に生産をおこなう

3) Marx, K., *Das Kapital*, 邦訳（青木文庫版、長谷部文雄訳）第1部、571ページ；葦利重隆「経営管理総論（新訂版）」1956年、148ページ参照。

大量生産機械・装置になっていることに技術的基礎をもっているということができる。進行工業では労働手段は本来、労働対象の流れにしたがって配列されており、そのうえに大量生産方式を確立するかどうかは、各生産段階をになう諸機械・諸装置の発展段階にかかっているわけである。これが大量生産方式の第1の類型である。これに対して、組立工業における大量生産方式は、諸工程が労働対象の流れにしたがって編成される、すなわち作業組織が品種別・職場作業組織さらには流れ作業組織に編成されることそれ自体に技術的基礎をもっているということができる。これが大量生産方式の第2の類型である。ところで、製鉄業は周知のように典型的な進行工業である。しかも、製銑、製銅、圧延の各過程に確立している基幹的労働手段(熔鉱炉、平炉、転炉、各種圧延機)が、程度の差はあれ、いずれも単一または少数品種の製品を連続的に生産する大量生産装置・機械として確立していることは、さきに説明したことからすでにあきらかである。したがって、「鉄鋼一貫工場」の機械体系が典型的な第1類型の大量生産方式を実現していることはいうまでもない。

さて、わたしはこれから、以上のような内容と性格をもつ機械体系が確立してくる過程の説明にうつることにしよう。ところで、結論をさきどりしていることになるが、製鉄業におけるこれらの3つの自立した労働過程の機械体系が「鉄鋼一貫工場」にみるような単一の機械体系に結合してくる過程は、2つの発展段階をたどった。まず18世紀末には、コート(H. Court)のパッドル炉・圧延機体系の導入によって精錬過程と成形加工過程との機械体系が結合された。19世紀中葉には、これらの2つの過程が1つの作業場のなかに結合されていた。これが第1段階である。さらに1880年代から1920年代にいたる過程では、精錬過程の変革と熱利用組織の確立を技術的な槓杆として、製銑過程と精錬・圧延過程との機械体系が結合された。「鉄鋼一貫工場」の技術体系はこうして形成されたのである。しかし、わたしはここで、この発展過程を全体的にとりあつかうことはできない。さしあたり、このような全体の発展過程を念頭にうかべながら、説明の焦点は発展過程の第1段階、つまり19世紀中葉段

階にすえることにする。

Ⅲ 19世紀中葉の製鉄機械体系

わたしたちは、イギリスの産業革命期になされた製鉄業の基本的な技術的変革を、第1に木炭熔鉱炉からコークス熔鉱炉への移行、第2に木炭精錬炉から石炭を使用するパドル炉への移行とパドル炉・圧延機体系の導入、第3に送風機および圧延機へのウォット蒸気機関の適用、そして第4に熔鉱炉への加熱送風法の導入、これらの4つの変革によって把握することができる。そこで、これらの個々の技術的変革が資本制経営の内部でどのような製鉄機械体系に集約されることになったのか、そしてさらにそれは前節で説明した現代的な製鉄機械体系とどれだけの距離をもっていたのかを説明しようとするのが本節以下の課題である。

ところで、産業革命が確立した製鉄機械体系をそれ自体として説明するまえに、まず、産業革命期の技術的変革の歴史的経過についてかんたんにふれておこう。

イギリス製鉄業における技術的変革は製鉄過程からはじまった。製鉄過程における本格的な装置の確立を意味する木炭熔鉱炉からコークス熔鉱炉への移行は、18世紀初頭以来ミッドランド地方の一隅コールブルックデールですでに漸進的に実現されていた。しかしコークス熔鉱炉が一地域のわくをこえて諸地域に普及し、木炭熔鉱炉を圧倒しはじめるのは、ようやく1750年代にはいつてからである⁴⁾。すなわち、1750年以前の段階でコークス熔鉱炉が継続的に操業されていたのはコールブルックデール製鉄所だけであったが、1750年代になるとシュロップシャのケトレイ、ホースヘイ、メドレイ・ウッド、ライトモア、ウィリィ、スタフォードシャのブラッドレイ、グラモーガンシャのヘーウェイン、ドウレイスの諸製鉄所で、さらに1760年にはスコットランドのキャロン製鉄所

4) 個々の技術的変革の内容については、さしあたり Ashton, T. S., *Iron and Steel in the Industrial Revolution*, 1924, Chaps. II, III, IV, を参照。

5) *Ibid.*, pp. 36-37.

とカンバーランドのシートン製鉄所でコークス熔鉱炉が操業を開始している⁶⁾。しかし、この段階のコークス熔鉱炉は技術的にまだ不完全なものであった。すなわち、熔鉱炉の原動力を生み出す送風機構は送風機の改良とりわけスミートンの鑄鉄製送風シリンダーの導入(1760年)によって新しく強化され、コークス熔鉱を実現しつつあったが、動力源を依然として水力に依存していた。このことはいまだ送風機構に不完全さをのこすことになっており、とりわけ熔銑中に混入する硫黄を石灰分に富む銑滓で除去するのに十分な高温を確保する点で不完全さをのこすことになっていた。したがって、ようやくコークス銑鉄の生産は緒についたが、このコークス銑鉄は木炭銑鉄にくらべて硫黄含有量のはるかに多く、旧来の精錬炉では良質の可鍛鉄には精錬できなかった。そのため、コークス銑鉄の大部分の用途は鑄物部門に向けられていたのであり、18世紀中葉の先駆的な大製鉄業者であるダービー家、ウィルキンソン家、ウォーカー家およびキャロン会社が主としてたずさわっていたのはまさにこの鑄物部門であった⁷⁾。他方、可鍛鉄の生産は依然として、木炭銑鉄を木炭精錬炉で精錬する旧来の方法でおこなわれていた。こうして、この段階ではまだコークス銑鉄の木炭銑鉄に対する決定的優位は確立していなかったのである。

1770年代末から1780年代前半にかけてなされた2つの技術的変革、すなわち送風機構へのウォット蒸気機関の導入と精錬過程へのバッドル炉・圧延機体系の導入は、製鉄業生産構造に画期的転換をもたらした。まず蒸気力送風の導入は、本格的な装置としてのコークス炉を技術的に確立し、量的にも、また高温銑滓による脱硫が進められたという意味で質的にも、木炭銑鉄に対するコークス銑鉄の勝利を決定づけた。このことはなによりも熔鉱炉の建設状況によってしることができる。すなわち、1788年においてすでに木炭熔鉱炉26基に対してコークス熔鉱炉は59基であったが、これが2年後の1790年には25基対81基に、さらに1806年には11基対162基となり、1780年以後コークス熔鉱

6) Scrivenor, H., *A Comprehensive History of the Iron Trade from the Earliest Records to the Present Period*, 1841, pp. 359-360.

7) Ashton, *op. cit.*, pp. 34-36, 38-54.

炉の比率が急速に高くなっていった⁸⁾。この比率が、銑鉄生産量で対比すればよりいっそう高くなることはいうまでもない。また、1790年にみられるコークス熔鋳炉 81 基のうち、2 基を除けばすべて 1750 年以後に建設されたものであり、さらにすくなくともその約半数の 39 基が 1780 年以後に建設されたものである。他方、25 基の木炭熔鋳炉のうち 3 基は 1750 年代に建てられたものであるが、その他はすべて 1750 年以前に建てられたものである⁹⁾。これだけからみても、コークス熔鋳炉の確立をよみとることができる。さらにパドル炉・圧延機械体系の導入は、石炭を燃料としてコークス銑鉄を可鍛鉄に精錬することを実現し、実際にコークス銑鉄の鍛鉄部門への進出を基礎づけた。こうして、1780 年代後半以後は、蒸気力送風熔鋳炉とパドル炉・圧延機械体系が急速に旧来の生産方法（木炭熔鋳炉と木炭精錬炉・はねハンマー体系）にとってかわることになったのである。

そこでこれから、以上のような技術的諸変革を出発点として産業革命がどのような製鉄機械体系を確立したかを説明していくことにする。

製鉄工場 蒸気力送風の導入は、なによりも個々のコークス熔鋳炉を装置として確立したが¹⁰⁾、それは同時にまたその単純協業の体系を、自動的動力機構によって統一的に運転される機械体系、つまりマルクスのいう「自動装置」として確立した¹¹⁾。ところで、この熔鋳炉の協業規模自体は、それが確立して

8) Scrivenor, *op. cit.*, pp. 86-87, 97, 359-360.

9) *Ibid.*, pp. 359-360, より算出。

10) 前掲拙稿, 45-46 ページ参照。

11) 「資本論」第 1 部第 13 章「機械と大工業」は自動的動力機構によって統一的に運転される機械体系を「自動装置」とよび、このような「自動装置」にもとづく作業場をもって「そのもっとも成育した姿態における工場」と規定している。しかしもちろん、「自動装置」とそれにもとづく「もっとも成育した姿態における工場」が、19 世紀中葉段階に機械・装置を導入していたすべての工業諸部門で確立していたわけではない。ここでは、概念的にも歴史的にも「自動装置」にさきだつ、よりプリミティブな発展段階の機械体系が考えられる。すなわち、少なくとも基幹の生産諸工程には機械・装置が導入されそれらが一応体系的に編成されているが、しかし統一的動力機構のような、編成された機械・装置の体系を分解しないように結合する技術的基礎をまだ確立していない段階の機械体系である。こうして、「自動装置」としての機械体系とそれにもとづく本来的な工場は概念的にも歴史的にも、このようなプリミティブな段階をへて、つまり 2 段階の発展のうえに確立されるのである。Marx, *op. cit.*, 邦訳, 第 1 部第 13 章第 1 節および第 4 節参照。なお、この「自動装置」と「装置」とはまったく別の概念である。念のため。

以来平均的にはほとんど変りがなかった。ここでは時期は下るが、1880年の調査によってその平均協業規模を析出しておこう。第2表からわかるように、もちろん地方によってはいくつかの例外的な場合はあるが、2ないし4基が平均的な協業規模であったわけである。これは現在もほとんど変らない。変っているのは単一熔鋳炉の容量と生産量である。

さて、「自動装置」として確立した製鉄機械体系は、内容的には、さらに熔鋳炉そのものの発展にしたがって2つの発展段階をへて、ほぼ現在のような機械体系に到達した。すなわち、第1は冷送風熔鋳炉の段階であり、第2は加熱送風熔鋳炉の段階である。

第1段階 18世紀末には装置として確立したコークス熔鋳炉は、1820年代末になると平均して高さ30～40フィート、ボッシュ直径10フィート、炉容5,000立方フィートの炉体をもつまでに発展しており、1基あたり週平均30～

第2表 熔鋳炉数別工場数 (1880年)

		工 場 数			
		South Staffordshire	South Wales	Cleveland	Scotland
熔 鋳 炉 数	1	5	1	0	1
	2	21	5	2	3
	3	17	5	6	5
	4	7	4	5	2
	5	1	1	2	6
	6	1	2	2	4
	7	0	1	0	2
	8	0	0	2	2
	9	0	3	0	1
	10	0	2	0	0
	11以上	0	1	1	2
工場数総計		52	25	20	38

注 1) この表は、Meade, R., *The Coal and Iron Industries of the United Kingdom*, 1882, pp. 397, 531-532, 615, 621, 740, の諸表より算出。

2) 熔鋳炉数は、稼働基数ではなく、既設給基数である。

40 トンの銑鉄を生産していた¹²⁾。しかし、この段階の熔鉱炉は、現在の視点からすると2つの点で未完成であった。第1にそれはまだ冷送風によっており、現在のような加熱送風法を導入していなかった。これはいうまでもなく炉内での熱効率の上昇に、したがって単位あたりコークス使用量の節減に、著しく阻止的な作用をすることになっていた。第2にそれは炉頂開放式であり、有益な熔鉱炉ガスを捕集して利用する設備をもっていなかった¹³⁾。これが、18世紀末から加熱送風法が導入される1820年代末までの熔鉱炉の姿であった。そして、このような熔鉱炉の単純協業を中核として、この段階の製鉄機械体系が成立っていたわけである。

第2段階 ネイルスン (J. B. Neilson) によって1820年代末から30年代はじめにかけてなされた加熱送風法の導入は、熔鉱炉の発展に一段階を画した。その導入がどのような変化をもたらしただかを、最初にそれが採用されたクライド製鉄所 (Clyde Works) での結果によって例示してみよう¹⁴⁾——

1829年 コークスと冷風によって、3基で銑鉄週生産量110.7トン。銑鉄1トンあたり石炭平均消費量8.05トン。

1830年 コークスと300° F. (149° C.) 熱風によって、3基で銑鉄週生産量162.1トン。銑鉄1トンあたり石炭平均消費量5.15トン

1833年 生の石炭と615° F. (324° C.) 熱風によって、4基で銑鉄週生産量245.0トン。銑鉄1トンあたり石炭平均消費量2.25トン。

こうして、この間にこの製鉄所では加熱送風を導入することによって、銑鉄1トンあたり石炭消費量が3分の1に節減され、同時に1基あたり銑鉄週平均生産量は37トンから61トンに増加したことがわかる。もちろんここに例示された数字はスコットランド地方に立地する一製鉄所の特殊性をふくんでいるが、しかし1830年代以降加熱送風を導入した製鉄工場では、ほぼ同様の発展傾向がみられたことはまちがいない。

加熱送風法の導入を基礎して、さらに1840年代になると、熔鉱炉ガスを捕

12) Bone, W. A. and Himus, G. W., *Coal, its Constitution and Uses*, 1936, pp. 442-443.

13) Fairbairn, W., *Iron, its History, Properties and Processes of Manufacture*, 1869, pp. 55-60.

14) *Ibid.*, pp. 80-81; Bone and Himus, *op. cit.*, pp. 443-444.

集して加熱用に利用する方向が理論的にも実際のにも成熟してきた。すなわち、1845年には、まずブンゼンとプレイフェア (Bunsen and Playfair) が熔鉱炉ガスの実験をとおして、燃料の81.54%を下らない部分がまだ有用な燃焼可能物質として失われていることをあきらかにした。これに対応しておなじ年に、バッド (J. P. Budd) が熔鉱炉ガスで熱風炉 (パイプ式) およびボイラーを加熱する方法を考案した。1850年には、ペリー (G. Parry) がエブ・ヴェイルで炉頂閉鎖用のいわゆる「装入鐘とホッパー (cup and cone)」を考案した。さらに1860年代はじめには、カウパー (E. A. Cowper) とホイットウェル (T. Whitwell) がクリーヴランドでそれぞれ独自に、熔鉱炉ガスで加熱される蓄熱式熱風炉を発明した¹⁵⁾。こうして、これらの一連の発明・改良の導入によって、1860年代には、(1) ガスを捕集するために炉頂閉鎖用「装入鐘とホッパー」をもち、(2) 捕集されたガスで加熱される蓄熱式熱風炉と (3) おなじように熔鉱炉ガスで加熱されるボイラーと蒸気機関およびそれによって駆動される送風機をそなえた熔鉱炉が確立することになった。このような熔鉱炉の具体的な姿を、1853年から72年にいたる期間の、クリーヴランド地方クラレンス製鉄所 (Clarence Works) での熔鉱炉設立経過によって例示してみよう¹⁶⁾。

年	設立基数	炉 の 規 模			1基あたり 週平均生産量 (トン)	1トンあたり コークス消費量 (トン)
		高 さ (フィート)	ボッシュ直径 (フィート)	炉 容 (立方フィート)		
1853~61	6	48.0	16.50	6,174	130~220	1.70~1.45
1865	2	80.0	20.50	15,000	310	1.15
1872	4	80.0	22.15	20,200	440~470	1.12

これが、1860年代に到達していた最高水準の熔鉱炉と製鉄機械体系であった。この段階においてはじめて、熔鉱炉と製鉄機械体系は、技術的内容において現在みるものとほぼおなじ発展段階に達したのである。

鍊鉄工場 コートのパッドル炉・圧延機体系の導入によって、銑鉄を鍊鉄

15) Fairbairn, *op. cit.*, pp. 88-94; Bone and Himus, *op. cit.*, pp. 444-445.

16) Bone and Himus, *op. cit.*, p. 446.

に精錬する過程と鍊鉄塊を成形する過程が体系的に結合され、1つの場所でおこなわれるようになった¹⁷⁾。はじめに、こうしてできあがった1860年代の段階での精錬・圧延過程の技術体系を全体として説明することにしよう。

精錬・圧延過程は¹⁸⁾、普通、パッドル精錬→鉾滓搾出→鍛造圧延→棒鉄切断・積重ね→再加熱→粗圧延→仕上圧延→矯正・切断 という連続した諸工程から成立っている。これらの諸工程を労働手段との関連で説明すると――

1. パッドル精錬工程 (puddling) この工程は、パッドル炉においておこなわれる、全過程のうちの基幹工程である。この工程ではさらに、銑鉄装入→熔解→精錬→ポーリング (balling) →取出し という手順で作業がおこなわれる。パッドル作業が要請されるのは、とくに精錬の段階においてである。1回の精錬には普通0.25トンの銑鉄が装入され、約2時間半を要する。

2 鉾滓搾出工程 (shingling) 鍊鉄塊 (puddled balls) は鉾滓を搾出され、同時に圧延に便利な形に圧縮される。この工程には18世紀末以来蒸気ハンマー (steam-hammer) がつかわれてきたが、この段階になるとハンマーにかわって回転式の圧搾機 (bloom-squeezer) がつかわれるようになっている。圧搾された鉄片 (bloom) は、一種のコンベヤー (Jacob's ladder) によって自動的に鍛造圧延機 (forge-train, puddling-rolls) のまえに運ばれる。

3 鍛造圧延工程 (forge-rolling) 鉄片が鍛造圧延機によって棒鉄 (puddled bars) に圧延される。

4 切断・積重ね工程 (cutting and piling) 棒鉄は切断機 (shear) で適当な長さに切断され、5ないし7つ積重ねて結束される。

5 再加熱工程 (reheating) この棒鉄の束 (boxes) は再加熱炉 (reheating-furnace) で鍛接温度にまで加熱される。

6 圧延工程 (rolling) 加熱された棒鉄の束は、まず粗圧延機 (roughing-rolls) によって棒状に成形され、さらにそれは仕上圧延機 (finishing-rolls) によ

17) Cf. Ashton, *op. cit.*, Chap. IV.

18) 精錬・圧延過程の説明は主として Fairbairn, *op. cit.*, Chaps. V, VI; U. S. Steel Corporation, *op. cit.*, 邦訳 上巻, 第16章, によっている。

って必要な寸法の丸棒、角棒、鉄板などに成形される。これらはゆがみを矯正され、必要な寸法に切断されて完成品となる。

1単位の作業場のなかには、いま列挙した工程順に、パドル炉と諸種の作業機がそれぞれの作業能力に逆比例する数の単純協業を構成しながら配列されているわけである。アレン (G. C. Allen) によれば、1860年代はじめの典型的な単位作業場は、パドル炉 10～20 基、蒸気ハンマー 1 基、鍛造圧延機 1 基、再加熱炉 (ボーリング・アップ炉も含めて) 3～4 基、圧延機 2 基から成立っていたといわれる¹⁹⁾。また、ボルトンのラッシュトンとエッカーズレイ (Rushton and Eckersley) なるものたちの所有する作業場は、およそつぎのような設備をそなえていた²⁰⁾——

パドル炉	16基
再加熱炉	14基
蒸気ハンマー	4基 (5トン2基, 2.5トン2基)
手動ハンマー	3基
鍛造圧延機	1基
ボイラー用鉄板圧延機	1基
棒鉄圧延機	1基
蒸気機関	6基 (総公称能力180馬力)
その他、鉄板用および棒鉄用切断機、旋盤など。	

以上でわたしは、精錬・圧延過程の諸工程をかなり具体的に説明してきた。これによって、まず後半の成形作業諸工程では、圧延機を中心にして動力化された作業機が導入され、それらが統一的な動力機構＝ウォット蒸気機関によって結合されて1つの機械体系を形成する段階にまで到達していることがわかった。ここでは「自動装置」確立の準備はまったく完了していたわけである。ところで、前半の精錬工程では、まえにものべたようにパドル炉の導入によって石炭を燃料とする銑鉄の精錬が実現され、木炭精錬炉からの大きな前進がみられた。しかし、パドル炉は熔解・精錬作業を依然として労働者の筋肉

19) Allen, G. O., *The Industrial Development of Birmingham and the Black Country, 1860-1927, 1929*, pp. 147-148.

20) Fairbairn, *op. cit.*, p. 104.

労働と手工的熟練に依存しており、したがってまた炉の規模を労働者の肉体的能力によって制限されざるをえなかった²¹⁾。すでに熔鋳作業そのものは筋肉労働から解放し、したがってまた炉の規模を労働者の肉体的能力から解放している熔鋳炉の場合とくらべるとき、パッドル炉はあきらかにまだ熔鋳炉の発展段階に達しておらず、装置として確立しているとはいえなかった。そしてこのことは、さきにのべたように後半の諸工程における機械体系の形成にもかかわらず、精錬・圧延の全過程に完結した機械体系＝「自動装置」とそれにもとづく本来的な工場の確立をさまたげていたのである。それは、紡績工場においては精紡工程が基幹的役割をもっており、その工程における動力化された作業機の未確立が完結した紡績機械体系＝「自動装置」の確立をさまたげていたのとおなじである²²⁾。このような不完全な機械体系にもとづく作業場は、さきに注(11)で説明した規定にしたがえば、プリミティブな第1段階の工場であるといえるであろう²³⁾。

パッドル炉にもとづく精錬法は、それが導入された18世紀末から19世紀中葉にいたる過程で2段階の発展を示した。1820年代までの段階では、パッドル炉はその前工程に、過剰の珪素および磷の一部をあらかじめ除去するための精錬炉(refinery)を結合していた。鋳滓を生成する不純分の一部が精錬炉で除去され、パッドル炉では滓の生成量の少なくなるこの2段階精錬法は“dry puddling”法とよばれた。しかし、1825年から32年のあいだに、ホール(J. Hall)が酸化物からなる炉底を使用したパッドル炉を導入し、予備精錬炉を不用にすることに成功した。この方法によって、精錬時間は短縮され、装入銑鉄の歩留は70%から90%に上昇した。この精錬法は“wet puddling”法とよばれ、1860年代には錬鉄生産の支配的な方法になっていた²⁴⁾。しかし、こうしてパッ

21) Allen, *op. cit.*, pp. 146, 148.

22) 堀江英一、イギリス紡績業における機械体系の確立過程、「経済論叢」第99巻第1号、1967年1月、56-58ページ参照。

23) わたしは前掲拙稿で、おなじ理由から精錬・圧延過程の経営の発展段階を単純にマニファクチュアと規定したが、本文で説明したように、正確には本来の工場への過渡段階として把握すべきであり、注11の立場からうえのように訂正しておく。

第3表 鍊鉄工場数、パッドル炉数、圧延機数推移

年	工場数	パッドル炉数	圧延機数
1861	213	4,147	439
1862	217	4,832	647
1863	223	5,013	654
1864	248	6,338	705
1865	252	6,407	730
1866	256	6,239	826
1867	254	6,009	831
1868	247	5,903	831
1869	245	6,243	859
1870	255	6,699	851
1871	267	6,841	866
1872	276	7,311	1,015
1873	287	7,264	939
1874	298	6,803	866
1875	314	7,575	909
1876	312	7,159	942
1877	300	6,796	935
1878	232	5,125	830
1879	314	5,149	846
1880	314	5,134	855

(注) この表は、Meade, R., *op. cit.*, Appendix III より抽出。

ドル炉にもとづく精錬法は改良されたが、さきにのべたパッドル炉の基本的性格には変化はなかった。精錬工程に装置を確立し、全過程に完結した機械体系を確立するには、新しい原理にもとづく精錬法が導入されねばならなかったのである。

さて、以上のような発展段階の機械体系をそなえた工場が、1860年代のイギリス製鉄業の精錬・圧延過程を支配していたのであるが、いま、1861年から80年にいたるあいだの工場数、およびそこでのパッドル炉数、圧延機数の推移をみると、第3表のようになっている。

また1880年の調査を利用して、イギリス製鉄業におけるこの部門の中心地帯であったサウス・スタフォードシャー地方の全工場を、パッドル炉数別および

圧延機数別に分類してみると、第4表のようになる。

これらの表から、6～20基のパッドル炉と、1～4基の圧延機をもった工場がもっとも支配的な規模の工場であったことを示すことができる。さきにのべた、アレンのいう典型的な単位作業場の規模は、このような事態をほぼ正確に総括していたわけである。

これまでわたしは、19世紀中葉段階の製鉄機械体系を、製鉄工場と鍊鉄工場という2つの工場にまとめて説明してきた。そこでしめくりとして、これらの

2つの工場の結合関係について 第4表 パドル炉数別、圧延機数別工場数
(1880年, サウス・スタフォードシャー地方)

て説明しておかねばならない。この場合、第Ⅱ節で析出しておいた製鉄機械体系の構成原理が説明の基準になるであろう。まず、労働対象の運搬という視点からすれば、つねに2つの工場の近接が追求されていることはいうまでもない。しかし、この要因それ自体はどのような生産力の発展段階にも作用しており、

パドル炉数 (総計1625基)	工場数 (総計118)	圧延機数 (総計311基)	工場数 (総計118)
5以下	7	0	1
6~10	29	1	17
11~20	32	2	26
21~30	12	3	16
31~40	3	4	13
41~50	3	5	6
51~60	3	6	5
61~70	3	7	7
71以上	0	8	3
不明	26	9	0
		10	0
		11以上	1
		不明	23

(注) この表は、Meade, R., *op. cit.*, pp. 543-544 の表より作成。

2つの工場の結合を1つの技術体系として定着させる積極

的要因とはなりえない。そこで問題は、このような要因による偶然的な諸過程の結合をこえて、さらにそれを1つの技術体系として定着させうる積極的な技術的基礎が確立しているかどうかである。つぎに、熱利用という視点から結合関係をみてみよう。すでにあきらかなように、この段階においてはまず第1に、熔銑を直接にパドル炉で精錬する技術が確立されていなかった。したがって、熔銑熱の利用という視点からくる工場結合化の誘因は作用していなかった。第2に、余剰ガスを捕集し多角的に利用する組織はまだ形成されていなかった。すなわち、熔銑炉ガスはすでに捕集されていたが、それは製銑工場内部で利用されているにすぎなかった²⁵⁾。また、この段階のコークス製造は副産物を回収しえないビーハイブ・コークス炉 (beehive coke oven) でおこなわれていたため、有益なコークス炉ガスを捕集して利用することはできなかった²⁶⁾。したがって、熔銑炉ガスの利用においてはたしかにのちに発展してくる余剰ガスの多

25) Bone and Himus, *op. cit.*, pp. 473-474.

角的利用の萌芽があらわれていたが、余剰ガスの多角的利用をととして全過程を組織する段階にはまだ達していなかった。こうして、熱の多角的利用という技術的基盤に立脚した2つの工場の結合関係はまだ確立していなかったのである。

しかし、このように2つの工場の技術的な結合は確立していなかったが、資本的には2つの工場を包含したいわゆる統合企業 (integrated firms) がこの段階のイギリス製鉄業において支配的地位をしめていた。全体的な数字はえられないが、たとえばサウス・スタフォードシャー地方では1860年に55の製鉄企業があったが、このうち約20は統合企業であったといわれることによってその一端をすることができる²⁶⁾。しかし、この段階の統合企業における2つの工場の結合は、技術的基盤にもとづいて定着した結合ではなかった。このことは、つぎのような諸点にあらわれていた。まず第1に、これらの巨大な統合企業とならんで多数の単独企業が、とりわけサウス・スタフォードシャー地方では統合企業のほかにさらに100に近い単独精錬・圧延企業がひしめいており、しかもこれらの単独企業が統合企業とまだ十分競争できたということである²⁷⁾。第2に、1870年代のいわゆる「大不況」期以降、1つにはこの段階までの製鉄業中心地における原料源の枯渇によって、また1つには後述するような新しい製鋼法の導入によって、イギリス製鉄業における生産構造の変化と製鉄業中心地の地域的移動が急激化したことが、この構造変化の過程でそれまでの巨大統合企業は解体にむかったということである。こうして、この段階においては、2つの工場が資本的には1つの企業に結合されている場合にも、それらが技術的合理性のうえに1つの技術体系として結合されているとはいえなかったのである。

26) *Ibid.*, p. 369.

27) Allen, *op. cit.*, pp. 144, 148-150.

28) Meade, R., *The Coal and Iron Industries of the United Kingdom, 1882*, pp. 534-535; *Ibid.*, p. 148.

IV 展 望

以上であきらかにしてきた19世紀中葉の製鉄機械体系は、さらに19世紀後半以後にみられる主として2つの系列の技術的変革によって、はじめて、現在わたしたちのみるような形の製鉄機械体系に発展してくる。最後にこの発展を展望してまとめしよう。

技術的変革の第1系列は、1850年代後半から1880年代にかけてなされた、精錬過程への転炉 (converter) および平炉 (open-hearth) の導入である²⁹⁾。転炉および平炉はいうまでもなく、これまでのパッドル炉とは異なって、熔解・精錬作業を筋肉労働と手工的熟練から解放する労働手段であり³⁰⁾、精錬過程にはじめて導入された本来的な装置であった。これによって精錬過程にも機械制生産が確立され、さきにのべたような精錬・圧延過程の機械体系ははじめて完結した機械体系＝「自動装置」となることができた (製鋼・圧延工場の確立)。さらに転炉および平炉の導入にともなって、熔銑を直接に炉に装入して精錬する技術が確立され、熔銑熱の利用という視点から製銑工場と製鋼・圧延工場を技術的に結合することが要請されることになった。

技術的変革の第2の系列は、1880年から20世紀のはじめにかけてなされた、余剰ガスの捕集と利用方法に関係する一連の変革である。それは主として4つの変革からなっている³¹⁾。第1は、製鉄用コークスが副産物回収式コークス炉 (by-product coke oven) で製造されるようになり、コークス炉ガスが捕集されるようになったことである。第2は、熔鋳炉ガスを燃料とするガス機関が実用化され、発電用に利用されるようになったことである。第3は、熔鋳炉ガスをガス機関用燃料として利用できるように清浄化する方法 (水洗法および静電法)

29) Cf. Allen, *op. cit.*, Part III, Chap. IV, Part IV, Chap. II.

30) くわしくは、さしあたり, Carr, J. C. and Taplin, W., *History of the British Steel Industry*, 1962, Part I, Chaps. I, II を参照。

31) このことは、決して筋肉労働が全面的に不用になったことを意味しない。装入作業、山鋼作業では依然として筋肉労働がのこされている。しかし熔解・精錬という基幹的作業が筋肉労働と手工的熟練から解放されることは、装置の確立にとって決定的に重要である。熔鋳炉の場合もおなじ。

32) Bone and Himus, *op. cit.*, pp. 369, 474-481.

が確立されたことである。そして第4に、製鉄工場内における熔鉱炉ガス利用量の節約、とりわけ旧来のシリンダー式送風機にかわって導入されたタービン式送風機 (turbo-blower) によるガス利用量の節約によって、多量の余剰ガスが生みだされたことである³³⁾。これらの諸変革の結果、熔鉱炉とコークス炉から多量の余剰ガスが捕集され、それらがまず第1に製鋼炉および加熱炉用燃料として、第2に発電用ガス機関の燃料として、多角的に利用される組織の形成が可能になった。そしてこのような合理的な余剰ガス利用の組織が、コークス工場、製鉄工場、製鋼・圧延工場、発電所の場所的集中を必要不可欠の条件としたことはいうまでもない³⁴⁾。

こうして、19世紀後半から20世紀はじめにかけてなされてきた2系列の技術的変革は、それまでそれぞれ自立していた諸工場を1つの単位工場として集結してくることになったのであるが、ここではじめてわたしたちは現在みるような「鉄鋼一貫工場」の機械体系の段階に到達することができたわけである。イギリスでこのような「鉄鋼一貫工場」の機械体系が確立するのは、1920年代末から30年にかけてのことである³⁵⁾。

33) *Ibid.*, p. 481.

34) *Ibid.*, pp. 487-493.

35) 1920年代末に改造されたリンカーンシャー北部のノーマンビー製鉄所 (Normanby Works) は、コークス用石炭以外になんら燃料および動力を購入しないで操業するようになったイギリス最初の製鉄所であった (Roepke, H. G., *Movement of the British Iron and Steel Industry, 1720 to 1951*, 1956, p. 115)。さらに30年代になると、コルビー製鉄所 (Corby Works) やエブ・ヴェイル製鉄所 (Ebbw Vale Works) などの「鉄鋼一貫工場」があらたに建設されるようになった (*Ibid.*, p. 121)。